

Características de Absorção da Radiação Eletromagnética em Revestimentos Planos à Base de Ferritas de Mg-Mn

A. C. C. Migliano e C. A. Reis de Freitas.

Instituto de Estudos Avançados – IEAv/CTA
Rodovia dos Tamoios km 5, 5, CEP 12228-840, São José dos Campos – SP, Brasil.

F. C. Lourenço de Melo

Instituto de Aeronáutica e Espaço-IAE/CTA
Pça Mal Eduardo Gomes 50, CEP 12228-904, São José dos Campos – SP, Brasil.

Resumo - A tecnologia de produção de revestimentos absorvedores de radiação eletromagnética do tipo manta está relacionada, essencialmente, com o desenvolvimento de novos materiais e suas propriedades eletromagnéticas. Neste trabalho apresenta-se a metodologia de produção de revestimentos planos de única camada, com características de absorção sintonizada na frequência de 9 GHz. Esses revestimentos foram confeccionados misturando-se pós de ferritas de Mg-Mn com uma base de resina epóxi alifática. Medidas de refletividade foram realizadas em três amostras com diferentes estequiometrias, na faixa de frequência de 8 a 12 GHz, para estudar as suas características de absorção da radiação eletromagnética. Os dados de refletividade são apresentados e comparados entre as diferentes amostras.

Abstract – The technology of production of blanket type films absorbent to electromagnetic radiation is related to the development of new materials and their electromagnetic properties. In the present work, we introduce a methodology of production of absorbent films of single plane layer, with absorption characteristics tuned to 9 GHz. These films were produced mixing Mg-Mn powder ferrites with a base of epoxy resin. Reflectivity measurements were carried out on three samples, with different structures, in the range of 8-12 GHz.

Palavras-chaves ¾ Absorvedores de microondas, ferritas de Mg-Mn, medidas de refletividade.

I – INTRODUÇÃO

Os aspectos eletromagnéticos de projeto de um material absorvedor de radiação eletromagnética são focalizados, principalmente, sobre a sua síntese, com o arranjo dos materiais dielétrico e magnético que proporcionam um dado perfil de impedância de onda para uma determinada onda eletromagnética incidente.

Desta forma, a evolução da tecnologia de produção desses materiais absorvedores está relacionada diretamente com o estudo dos materiais, e exploração de técnicas para obtenção de revestimentos com qualidades

de absorção da radiação eletromagnética, para uma faixa cada vez mais ampla do espectro [1-5].

As aplicações desses materiais concentram-se no setor da indústria de telecomunicações e aeronáutica, podendo relacionar:

- revestimentos de câmara anecóica para ensaios eletromagnéticos;
- blindagem de ambientes com fontes intensas de RF danosas ao tecido humano;
- antenas de alto desempenho;
- controle de interferência eletromagnética;
- redução de radar-cross-section de aeronaves e artefatos;
- blindagens de fornos de microondas.

II - MATERIAL ABSORVEDOR DE RADIAÇÃO

As características de absorção de um material absorvedor de radiação (RAM) [6] estão baseadas no fato de que as substâncias absorvem energia dos campos eletromagnéticos que o atravessam. Sobre o termo imaginário do índice de refração do material, o qual inclui os efeitos dos campos magnético e elétrico, é possível avaliar a dissipação de potência ou energia no material na forma de calor. Para a faixa de frequência de RF as perdas são resultantes de efeitos que ocorrem nos níveis atômico e molecular. Na prática, para uma grande parcela de materiais absorvedores elétricos, as perdas são conseqüências da condutividade finita do material, enquanto que para os materiais magnéticos a rotação da magnetização dentro dos domínios é o principal mecanismo de perdas. Na prática são considerados apenas os efeitos cumulativos das perdas e, portanto, é suficiente relacionar todos os seus mecanismos com a permissividade (ϵ) e permeabilidade (\mathbf{m}) do material[7].

Essas grandezas físicas podem ser expressas na forma complexa:

$$\begin{aligned} \epsilon_r &= \epsilon_r' - i\epsilon_r'' \\ \mathbf{m} &= \mathbf{m}'_r - i\mathbf{m}''_r \end{aligned} \quad (1)$$

onde ϵ_r e \mathbf{m} são a permissividade e permeabilidade relativas, as quais estão normalizadas pelos valores no vácuo ϵ_0 e μ_0 . As partes reais das grandezas, ϵ_r' e \mathbf{m}'_r , estão relacionadas com energia armazenada, enquanto que as partes imaginárias, ϵ_r'' e \mathbf{m}''_r , estão relacionadas com as

perdas. Como, para os absorvedores elétricos os mecanismos das perdas estão relacionados com a condutividade, σ , do material, é conveniente expressá-la em termos de ϵ''_r :

$$\epsilon''_r = \mathbf{s} / \omega \mathbf{e}_0 \quad (2)$$

onde ω é a frequência angular de radiação. De forma equivalente, pode-se expressar as grandezas físicas complexas na notação polar:

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_r &= |\mathbf{e}_r| e^{i\delta} \\ \mathbf{m}_r &= |\mathbf{m}_r| e^{i\delta_m} \end{aligned} \quad (3)$$

onde δ e δ_m são os argumentos das tangentes de perdas elétrica e magnética, dados por:

$$\begin{aligned} \text{tg} \delta &= \mathbf{e}_r'' / \mathbf{e}_r' \\ \text{tg} \delta_m &= \mathbf{m}_r'' / \mathbf{m}_r' \end{aligned} \quad (4)$$

O índice de refração n é a razão entre o número de onda, k , característico da onda que se propaga no interior do material e o número de onda, k_0 , característico de propagação da onda no vácuo, isto é,

$$n = k / k_0 = \sqrt{\mathbf{m}_r \mathbf{e}_r} \quad (5)$$

onde $k_0 = \omega \sqrt{\mathbf{m}_0 \mathbf{e}_0}$. Da mesma forma, as grandezas físicas permissividade e permeabilidade relativas definem a impedância intrínseca, Z , do material:

$$Z = Z_0 \sqrt{\mathbf{m}_r / \mathbf{e}_r} \quad (6)$$

onde Z_0 é a impedância intrínseca do vácuo, $120\pi=377\Omega$.

A impedância intrínseca é o valor observado pela onda eletromagnética de incidência normal no material. Em aplicações práticas, uma camada de material dielétrico está aplicada sobre uma superfície condutora e a impedância normalizada η é dada por:

$$\mathbf{h} = \sqrt{\mathbf{m}_r / \mathbf{e}_r} \text{tgh} \left(-k_0 d \sqrt{\mathbf{m}_r \mathbf{e}_r} \right) \quad (7)$$

sendo d a espessura da camada do material dielétrico. A impedância normalizada pode ser usada para calcular o coeficiente de reflexão R :

$$R = \frac{\mathbf{h} - 1}{\mathbf{h} + 1} \quad (8)$$

sendo η obtido de (7) e R um número entre 0 e 1, conhecido como coeficiente de reflexão em decibéis:

$$|R|(dB) = 20 \log_{10} |R| \quad (9)$$

Desta forma, o objetivo deste estudo foi à produção de um material com o menor valor de $|R|$ possível, numa faixa de frequência mais ampla possível. No entanto, deve-se

ressaltar as limitações de se desenvolver um absorvedor para uma ampla faixa de frequência que seja homogêneo, de única camada e que obedeça às condições de Kramers-Kronig [7]. Também se deve considerar a necessidade de se desenvolver uma blindagem com a menor espessura possível e de baixa densidade. Neste sentido, as ferritas à base de MgO são mais adequadas que as ferritas à base de NiO e CoO, que foram os principais compostos estudados na última década.

III - PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO ADITIVO MgO-MnO-Fe₂O₄ E CORPO DE PROVA

O processo de fabricação do aditivo MgO-MnO-Fe₂O₄ seguiu, basicamente, a técnica de metalurgia do pó, sendo que foi eliminada a etapa de compactação do material. As principais etapas do processo foram:

- Pesagem;
- Mistura do pó em moinho de bolas;
- Pré-cozimento em forno;
- Micronização;
- Sinterização 1350°C;
- Micronização final

O pré-cozimento foi realizado em atmosfera de oxigênio a 900 °C em 30 minutos, com rampas de aquecimento e resfriamento de 200°C por hora. No primeiro processo de micronização faz-se a redução de partículas até atingir a dimensão de 10 µm ou menor. Em seguida, executa-se a sinterização do pó a 1350°C por 2 horas, também em atmosfera de oxigênio. Após este processo, a mistura é novamente submetida ao processo de micronização para atingir tamanho máximo de partícula de 10 µm. Os pós de ferrita obtidos foram misturados com resina epóxi, na proporção de 50% do volume, para obtenção de revestimentos na dimensão de 30cm x 30 cm x 2 mm.

IV – APARATO EXPERIMENTAL

A eficiência de um material absorvedor, ou o quanto um objeto está absorvendo da radiação incidente, é medida pela densidade do fluxo de energia refletida pelo objeto na direção do receptor do radar, medida esta denominada de Seção Transversal de Radar. A relação entre perda de reflexão (dB) e a porcentagem de absorção de sinal de radiação é obtida via medidas de refletividade, utilizando o método do Arco (NRL). Este método é o mais utilizado, em função do seu arranjo experimental simples e por permitir o ensaio com amostras de revestimento com diversos tamanhos e geometrias.

A figura 1 apresenta o esquema do arranjo experimental utilizado[8] nos ensaios de caracterização das mantas confeccionadas. É utilizada uma armação de madeira ao longo da qual um par de antenas é movido em ângulos variando de 0° a 85°. Esse método possibilita a avaliação rápida da eficiência do revestimento absorvedor formulado para operar na faixa de frequência de 8 a 12 GHz.

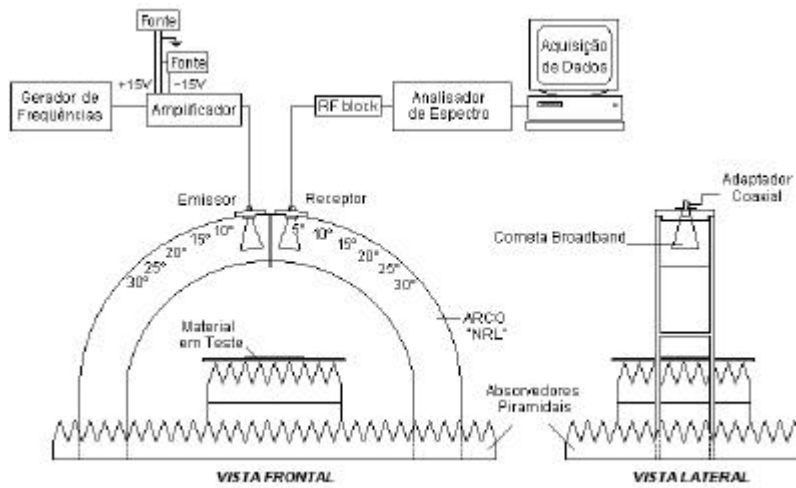


Fig.1. Arranjo experimental para a caracterização de revestimentos absorvedores de radiação eletromagnética

V - MEDIDAS DE REFLETIVIDADE

Foram estudadas três amostras de ferritas diferentes, para evidenciar as características de seletividade do espectro eletromagnético em função das suas composições estequiométricas. A Tabela I apresenta as formulações dos componentes MgO-MnO-Fe₂O₄ estudadas.

Composição	Mn O (%)	MgO (%)	Fe ₂ O ₄ (%)
Amostra 1	10	60	30
Amostra 2	10	50	40
Amostra 3	16	9	75

Tabela I: Composição Estequiométrica das Amostras de Ferrita

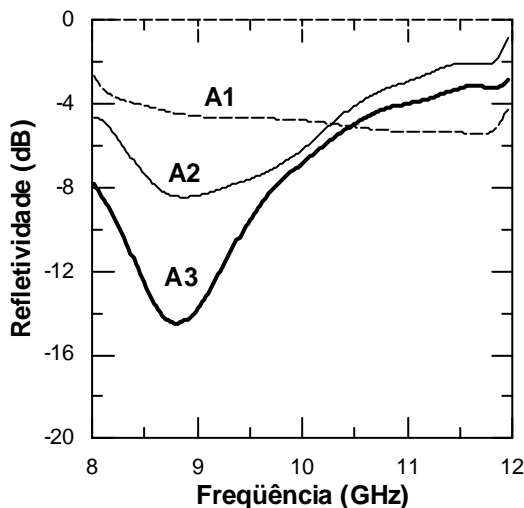


Fig.2. Níveis de absorção em função da frequência.

A figura 2 apresenta o comportamento do coeficiente de reflexão para as três amostras, com composição estequiométrica de ferritas distintas. Foi medido o valor mínimo de absorção de, aproximadamente, -0.7dB na mais alta frequência, 12

GHz. O maior valor de absorção encontrado foi na faixa de frequência de 9 GHz, correspondendo a -16 dB.

Observa-se também uma clara seletividade de absorção da radiação eletromagnética em torno da frequência de 9 GHz para a amostra A3. A amostra A1 apresentou uma absorção com maior espalhamento sobre o espectro eletromagnético. A curva de absorção obtida para a amostra A2 ocupou a região intermediária entre as outras amostras.

VI - CONCLUSÃO

As características de absorção seletiva de radiação eletromagnética nas mantas confeccionadas são atribuídas aos aditivos de ferrita do tipo MgO_xMn_{1-x}Fe₂O₄ estudados. Sua aplicação é indicada para a faixa de frequência de 8,5 a 9,5 GHz, na qual foi observada um valor de refletividade menor que -10dB, com mínimo de -17dB para uma das amostras. Esta característica de absorção pode ser otimizada em função da porcentagem em volume do aditivo cerâmico na manta.

Foram estabelecidos parâmetros para melhorar o processo de fabricação de revestimentos utilizados como blindagem eletromagnética, com o objetivo de aumentar a eficiência de absorção das mantas desenvolvidas para aplicações aeroespaciais.

AGRADECIMENTOS

Expressamos aqui nossos agradecimentos à MSc Eng^a Vera Lúcia Othéro de Brito e ao Tecnologista Roger Gomes da Silva pelas sugestões recebidas.

REFERÊNCIAS

[1] Centro Técnico Aeroespacial, "Processo para Obtenção de Revestimentos Absorvedores de Microondas 2 -20 GHz à Base de Poliuretanos e Resinas Epóxi Aditados com Partículas de Carbono e Ferritas", Patente - Código de Registro: PI9805581, Dezembro 1998.

- [2] Centro Técnico Aeroespacial, - "Processo para Obtenção de Manta Flexível para Absorção de Radiação Eletromagnética na Faixa de 2 - 20 GHz à Base de Poliuretanos Aditados com Ferrita, Fibras e/ou Partículas de Carbono", Patente - depósito em Dezembro 1998 Código do Registro: PI9806680, Dezembro 1998.
- [3] Y. C. De Polli, A. C. C. Migliano, C. R. S. Stopa, S. I. Nabeta and J. R. Cardoso, "Finite Element Analysis of Impedance of na Electron Beam Current Monitor", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 35. NO. 3, pp1833-1836, May 1999.
- [4] A. C. C. Migliano, Y. C. De Polli, C. R. Stopa and S. I. Nabeta, "Simulation of the Electron Beam Current Monitor Using a Finite Element Method Coupled with Circuit", Anais do The Brazilian Conference on Electromagnetics- CBMAG98. São Paulo, Brazil , vol. 1, pp284-287, Ed. Sociedade Brasileira de Eletromagnetismo, October1998.
- [5] Centro Técnico Aeroespacial, "Processo de Fabricação de Monitor de Corrente de Elétrons não Interceptante", Patente - Código do Registro: PI9902434, Junho 1999.
- [6] E. Knott, J. Shaeffer and M. Tuley, Radar Cross Section, 2ª Ed., Artech House, Inc., 1993.
- [7] J.L.Wallace, "Broadband Magnetic Microwave Absorbers: Fundamental Limitations", IEEE Transactions on Magnetic, vol. 29, NO. 6, pp4209-4214, November 1993.
- [8] A. C. C. Migliano, F. S. Silva, I. M. Martin, J. C. Dias, M. C. Rezende, "Caracterização Experimental de Tintas Absorvedoras de Radiação" Eletromagnética, Anais do 6º Congresso Internacional de Tintas, vol.2, pp.453-460, Setembro 1999.

Mecânica (1989) pelo Instituto de Física da USP. Doutor em Engenharia Elétrica (1996) na Área de Energia e Controle pela Escola Politécnica da USP. Especialização em Gerencia de Projetos (1997) pelo Centro Técnico Aeroespacial (CTA) e Ferramentas CAE/CAD (1997) pelo Institut National Polytechnique de Grenoble, França. Pesquisador Titular da Divisão de Física Aplicada do Instituto de Estudos Avançados do CTA, desde 1985. Atual coordenador do Laboratório de Sistemas Eletromagnéticos da Divisão de Física Aplicada – CTA/IEAv.

E-mail: migliano@ieav.cta.br;

Carlos Alberto Reis de Freitas-Engenharia Elétrica – Ênfase Eletrônica UNIFEI (1984), Especialização em Engenharia de Software –UNIVAP (1990), Mestre em Engenharia Elétrica-UNIFEI (1996), Doutor em Engenharia de Materiais-UNESP-FEG (2001). Engenheiro Instrutor- IPV - Instituto de Proteção ao Voo -CTA - (1986), Pesquisador do IAE - Instituto de Aeronáutica e Espaço -CTA –(1986-2001) desenvolvendo o projeto do VLS (Veículo Lançador de Satélites). Atualmente desenvolve pesquisas sobre ambientes eletromagnéticos, EMI/EMC e materiais magnéticos no Laboratório de Sistemas Eletromagnéticos da Divisão de Física Aplicada IEAv-CTA –Instituto de Estudos Avançados.

E-mail: careis@ieav.cta.br.

Francisco Cristóvão Lourenço de Melo - Engenheiro de Materiais pela Universidade de São Carlos (1985), mestre em Engenharia de Materiais UFSCAR (1989), Doutor em Tecnologia Nuclear peal USP (1994). Pesquisador Titular da Divisão de Materiais do IAE – CTA, Instituto de Aeronáutica e Espaço, onde exerce a gerência de projetos sensores de infravermelho e a chefia da seção de prospecção Tecnológica Aplicada a engenharia dos materiais.

E-mail: frapi@iae.cta.br;

Antonio Carlos da Cunha Migliano - Bacharel em Física (1983) e Mestre em Ciências Física dos Materiais e